

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-335572

(43)公開日 平成7年(1995)12月22日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号 庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 01 L 21/205

C 23 C 16/44

16/46

H 01 L 21/365

H

審査請求 未請求 請求項の数8 FD (全7頁)

(21)出願番号

特願平6-150548

(22)出願日

平成6年(1994)6月8日

(71)出願人 000221122

東芝セラミックス株式会社

東京都新宿区西新宿1丁目26番2号

(72)発明者 伊藤 幸夫

山形県西置賜郡小国町大字小国町378 東

芝セラミックス株式会社小国製造所内

(72)発明者 外谷 榮一

山形県西置賜郡小国町大字小国町378 東

芝セラミックス株式会社小国製造所内

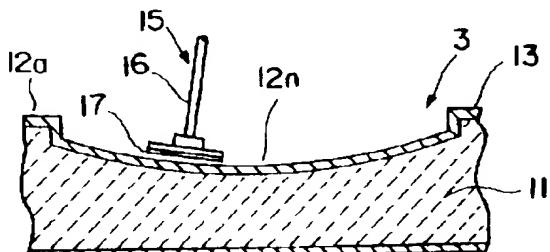
(74)代理人 弁理士 木下 茂 (外1名)

(54)【発明の名称】 半導体ウェハの研磨用サセブタ及びその製造方法

(57)【要約】

【目的】 半導体ウェハを化学気相成長させるサセブタの球面凹部の表面研磨法を改良し、サセブタの品質を改善してウェハの結晶成長を向上させてなる半導体ウェハのサセブタ及びその製造方法を提供することを目的とするものである。

【構成】 シリコンなどの半導体ウェハ8を載置したサセブタ3を高周波加熱装置などの反応炉内で化学気相成長させる半導体ウェハのサセブタにおいて、前記サセブタ3の球面凹部12aを、ダイヤモンド粉集合体17を取り付けた円盤状の回転円盤16を回転させ、ダイヤモンドパウダを研磨助材として鏡面に研磨し、前記サセブタの球面凹部を鏡面に研磨することにより、前記球面凹部の表面粗さをRa値で0.1~3μmとしたものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体ウエハを載置する球面凹部を少なくとも一つ有する半導体ウエハの熱処理用サセプタにおいて、前記サセプタの球面凹部の表面粗さがRaで0.1~3μmであるを特徴とする半導体ウエハの熱処理用サセプタ。

【請求項2】 半導体ウエハを載置する球面凹部を少なくとも一つ有し、その球面凹部の側壁部外周域に平坦部を有する半導体ウエハの熱処理用サセプタにおいて、前記サセプタの球面凹部の表面粗さがRaで0.1~3μmで、かつ球面凹部の側壁部外周域の平坦部表面の表面粗さがRaで10~40μmであることを特徴とする半導体ウエハの熱処理用サセプタ。

【請求項3】 半導体ウエハを載置する球面凹部を少なくとも一つ有し、その球面凹部の側壁部外周域に平坦部を有する半導体ウエハの熱処理用サセプタにおいて、前記サセプタの球面凹部の表面粗さがRaで0.1~1μmで、かつ球面凹部の側壁部外周域の平坦部表面の表面粗さがRaで10~40μmであることを特徴とする半導体ウエハの熱処理用サセプタ。

【請求項4】 前記サセプタの球面凹部の表面の全不純物量が1.0~10⁻⁹g/cm²以下であることを特徴とする請求項1記載乃至請求項3記載の半導体ウエハの熱処理用サセプタ。

【請求項5】 前記サセプタの球面凹部表面のFe分析値が0.2~10⁻⁹g/cm²以下、Cu分析値が0.1~10⁻⁹g/cm²以下、Mg分析値が0.1~10⁻⁹g/cm²以下であることを特徴とする請求項1乃至請求項4記載の半導体ウエハの熱処理用サセプタ。

【請求項6】 半導体ウエハを載置する球面凹部を少なくとも一つ有し、その外周域に平坦部を有する半導体ウエハの熱処理用サセプタの製造方法において、平坦凹盤を有する回転装置の平坦面にダイヤモンド粉集合体を装着し、かつ前記球面凹部と前記平坦面との間にダイヤモンドパウダを含有する液状体を介在させて、前記球面凹部の表面を鏡面研磨することを特徴とする半導体ウエハの熱処理用サセプタの製造方法。

【請求項7】 前記平坦凹盤を有する回転装置の平坦面に装着されたダイヤモンド粉集合体の表面部分が200~1000メッシュの表面粗さに形成されていることを特徴とする請求項6記載の半導体ウエハの熱処理用サセプタの製造方法。

【請求項8】 前記ダイヤモンドパウダの粒径が0.1~2.0μmであることを特徴とする請求項6もしくは請求項7記載の半導体ウエハの熱処理用サセプタ製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はシリコンなどの半導体ウエハを多数並べて載置したサセプタを高周波加熱装置や

ランプ加熱装置などに配し、反応炉内で半導体ウエハを化学気相成長させる半導体ウエハの熱処理用サセプタ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 一般に、半導体集積回路素子の高集積化または高性能化に伴い、この素子の出発材料としてエピタキシャル構造をもつものが用いられている。このエピタキシャル半導体ウエハは、シリコン単結晶（以下、半導体と称す）ウエハに半導体薄膜を化学気相成長させたものである。すなわち、化学気相反応法によりシリコンなどの半導体ウエハを製造するのに結晶成長法が利用されており、この結晶成長法では、半導体ウエハをサセプタ上面に載置して高周波加熱装置やランプ加熱装置などの熱処理装置の反応炉内に設置し、反応炉内に反応ガスを導入することにより半導体ウエハ表面に半導体薄膜を結晶成長させるものである。

【0003】 また、エピタキシャル半導体ウエハの製造方法としては、1回のプロセスで処理できる半導体ウエハの枚数が、数枚から数十枚のバッチ方式と、1枚ずつ処理する枚葉方式とがあり、上記バッチ方式も反応炉の構造により縦型およびシリング型とに大別されている。

【0004】 従来、数枚から数十枚の半導体ウエハを縦型反応炉で化学気相成長させる縦型の化学気相成長装置の構造は、図4および図5に示すように、装置内に外部より反応ガス7を導くガス導入ノズル1と、上記ガス導入ノズル1の先端部の側壁に穿設された吹出口2と、上記ガス導入ノズル1の基部周囲に設置され、半導体ウエハ8を支持するサセプタ3と、上記サセプタ3およびガス導入ノズル1の周囲を開き、反応炉空間を形成する右

30 英ガラスベルジャ4およびステンレス・ベルジャ5と、上記サセプタ3を高周波誘導コイルにより加熱するヒータ6とにより構成されている。なお、上記ガス導入ノズル1は透明石英からなり、サセプタ3からガス導入ノズル1の先端までの高さHは、一般的に20mmである。

【0005】 上記縦型の化学気相成長装置では、高周波誘導コイルのヒータ6によりサセプタ3を加熱すると、サセプタ3の上に載置されている半導体ウエハ8が加熱される。上記半導体ウエハ8が所望の温度に達したとき、ベルジャ4にて形成された反応炉内に外部のガスランイン9からガス導入ノズル1を介して反応ガス7を導く。反応ガス7は吹出口2から炉内に噴出され、炉内で分解して半導体ウエハ8の上に半導体薄膜を気相成長させる。

【0006】 一方、半導体ウエハ8を気相成長させるサセプタ3の構造は、図6および図7に示すように、円板状の炭素基材11からなるサセプタ3の上面に、半導体ウエハ8を載置する多數の球面凹部12₁、12₂、…12_nが等間隔に、また前記球面凹部12₁、12₂、…12_nの側壁部外周域には平坦部12aが形成されており、その球面凹部12₁、12₂、…12_nの表面及

3

び平坦部12aの表面は炭化珪素(以下SiCと称す)膜13によって被覆されている。

【0007】また、サセアタ3の上面に形成された球面凹部12₁、12₂、…12_nの直径は、適用される半導体ウエハ8の直径よりやや大きく、その深さhはウエハの厚さとほぼ同じに設定されており、化学気相反応法により結晶成長を行うために加熱する場合のウエハ支持体としての機能を有している。

【0008】さらに、上記サセアタ3を加熱する方法として、高周波誘導コイルのヒータ6により加熱した場合は、サセアタ3の炭素基材11側より加熱され熱伝導により外部に熱放出されるので、サセアタ3に載置した半導体ウエハ8は中央部に比較して外周部の方が加熱されにくい。しかもその温度差による熱応力でウエハに反りが発生し易いので、サセアタ3の上面に形成された球面凹部12₁、12₂、…12_nの深さhが適正值に設定されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】近年、シリコンなどの半導体ウエハの大口径やICチップの高集積化に伴い、エピタキシャル半導体ウェーハの品質管理も一層厳格になっている中で、エピタキシャル半導体ウェーハの歩留り低下の原因として、スリップ欠陥の問題が挙げられており、例えば、黒鉛基材にCVD-SiCコートを施した従来の半導体ウエハの熱処理用サセアタでは、球面凹部においてCVD-SiC膜に微細な凹凸部が形成されているため、この上に半導体ウエハを載置して熱処理すると、半導体ウエハにスリップが発生することがあった。

【0010】前記スリップ欠陥は、エピタキシャル成長工程におけるウエハ表面の温度ムラに起因した応力の発生などによると想われており、このウエハ表面の温度ムラの発生要因としては、(1)エピタキシャル成長工程での条件設定、(2)サセアタと半導体ウエハとの密着性など考えられ、サセアタと半導体ウエハとの密着性を改善することがサセアタの品質の向上の項目の一つになっている。

【0011】この改善策として、球面凹部の表面のSiC膜をSiC治具で研磨することによって球面凹部の表面の平滑化を図っているが、この方法でも一部の製品では満足できる結果が得られていない。

【0012】また、半導体ウエハの熱処理装置では、熱処理装置の高純度化の必要性から、各種の構成部材を高純度化したセラミックスとしたり、また、高純度CVDコートを施したりすることが行われてきたが、熱処理装置を作動させると、反応炉内の雰囲気中には少なからず不純物が混入し、これによって、半導体ウエハが汚染するという技術的課題があった。

【0013】本発明は、上記した課題を解決するためになされたもので、半導体ウエハを化学気相成長させるサ

4

セアタの球面凹部の表面研磨法を改良し、サセアタの品質を改善して半導体ウエハの結晶成長を向上させてなる半導体ウエハの熱処理用サセアタ及びその製造方法を提供することを目的とするものである。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するためには、本発明は、半導体ウエハを載置する球面凹部を少なくとも一つ有する半導体ウエハの熱処理用サセアタにおいて、前記サセアタの球面凹部の表面粗さがRaで0.1～3μmとしたことを特徴とする。

【0015】また、半導体ウエハを載置する球面凹部を少なくとも一つ有し、その球面凹部の側壁部外周域に平坦部を有する半導体ウエハの熱処理用サセアタにおいて、前記サセアタの球面凹部の表面粗さがRaで0.1～3μmで、かつ球面凹部の側壁部外周域の平坦部表面の表面粗さがRaで1.0～4.0μmであることを特徴とする。好しくは前記サセアタの球面凹部の表面粗さがRaで0.1～1μmで、かつ球面凹部の側壁部外周域の平坦部表面の表面粗さがRaで1.0～4.0μmであることを特徴とする。

【0016】更に、半導体ウエハを載置する球面凹部を少なくとも一つ有し、その外周域に平坦部を有する半導体ウエハの熱処理用サセアタの製造方法において、平坦円盤を有する回転装置の平坦面にダイヤモンド粉集合体を装着し、かつ前記球面凹部と前記平坦面との間にダイヤモンドパウダを含有する液状体を介在させて、前記球面凹部の表面を鏡面研磨することを特徴とする。

【0017】

【作用】このような構成に基づいて、本発明では、平坦円盤を有する回転装置の平坦面にダイヤモンド粉集合体を装着し、かつ前記球面凹部と前記平坦面との間にダイヤモンドパウダを含有する液状体を介在させて、前記球面凹部の表面を鏡面研磨したことにより、球面凹部を鏡面に研磨することが可能であり、このサセアタの球面凹部にウエハをセットして反応温度まで昇温すると、球面凹部の表面が鏡面に研磨されているので、その表面に半導体ウエハが密着し、ウエハ内の温度分布が内周部と外周部とで均一化され、結晶欠陥となるスリップ発生の問題が解消される。

【0018】しかも、前記サセアタの球面凹部の表面粗さがRaで0.1～3μmで、かつ球面凹部の側壁部外周域の平坦部表面の表面粗さがRaで1.0～4.0μmであるため、炉内雰囲気中に少なからず混入する不純物を選択的に前記平坦部表面にトラップさせることができ、実質上半導体ウエハが不純物によって汚染されることはない。

【0019】以上のように、半導体ウエハを化学気相成長させるサセアタの球面凹部の表面研磨法を改良し、サセアタの品質を改善したので、化学気相成長法によるウエハの結晶成長効率を向上させることができる。

【0020】

【実施例】以下本発明による実施例を図面に基づいて詳細に説明する。

【0021】図1は本発明による半導体ウエハの熱処理用サセプタにウエハを載置する球面凹部の研磨状態を示す断面図、図2は本発明によるサセプタにウエハを載置する球面凹部の研磨装置を示す断面図であり、従来構造と同一部品には同じ符号を付して説明する。

【0022】図において、半導体ウエハを熱処理する円板状のサセプタ3は炭素基材11からなり、その上面に半導体ウエハ8を載置する球面凹部12nが等間隔に多数形成されるとともにその球面凹部12nの側壁部外周域には平坦部12aが形成されており、上記球面凹部12nの表面及び平坦部12aの表面は炭化珪素(SiC)膜13によって被覆されている。

【0023】上記サセプタ3の球面凹部12nの表面に炭化珪素膜13を被覆したままの状態では、球面凹部12n内に載置された半導体ウエハ8が球面凹部12n内の底部に密着せず、結晶成長の異常発生が生ずるので、半導体ウエハ8が接触する球面凹部12nの表面に研磨処理を施して鏡面に仕上げる必要がある。

【0024】上記半導体ウエハ8が載置される球面凹部12nの表面を研磨する研磨治具15は、回転円盤16と、回転円盤16の研磨面に取付けた円盤状かつ平坦のダイヤモンド粉集合体17とにより構成されており、こ*

*の研磨治具15により球面凹部12nの表面を研磨する際に、研磨助材としてダイヤモンドパウダを含有する液体状体を使用し、回転円盤16を回転させることにより、球面凹部12nの表面を研磨加工する。また、球面凹部の側壁部外周域の平坦部表面は、SiC治具で研磨加工する。

【0025】次に、表面粗さの違いによって、半導体ウエハに生じるスリップの発生率を実験した。まず、本発明による研磨治具15を用いて、球面凹部(直径101.5mm、深さ0.7mm)を研磨した。研磨に際し、研磨治具15の回転円盤16を直径30mmの円盤状の平坦板とし、その回転数を、12,000rpmとし、前記回転円盤16の研磨面にダイヤモンド粉集合体を装着して研磨した。なお、球面凹部の表面粗さはダイヤモンド粉集合体表面部分の表面粗さ、及びダイヤモンドパウダの粒径を変化させることによって、Raで0.1μm、1.5μm、3.0μm、5.0μm、15.0μmを得た。これらサセプタに半導体ウエハを載置し、窒素雰囲気で1200°C、30分間熱処理を施し、その後製品上問題となるスリップの発生率について測定した。測定した結果、製品上問題となるスリップの発生率は以下の表1のようになった。

【0026】

【表1】

	表面粗さ(μm)	スリップの発生率(%)
実施例1	0.1	0
実施例2	1.0	3
実施例3	3.0	8
比較例1	5.0	20
比較例2	15.0	40

【0027】また、スリップ長について測定した結果、実施例2では150mm、実施例3では150mmとなり、比較例1の300mm、比較例2の400mmと比べ、短くなった。なお、Raの下限値を0.1μmとしたのは、これ未満の粗さでは、ウエハが球面凹部12n(12a)に接合してしまい、ウエハ取り出し時にウエハ割れを発生させるためである。

【0028】以上のように、サセプタの球面凹部12nの表面をR_{max}で0.1μm~3μmとしたため、半径50

※導体のウエハの熱処理時に球面凹部の表面に半導体ウエハが密着し、その結果、ウエハ内の温度分布が内周部と外周部とで均一化され、結晶欠陥となるスリップ発生の問題が解消される。なお、上記球面凹部12nの表面粗さはRaで0.1~1.0μmであることがより好ましい。

【0029】次に、トラップの有効性について実験した。本発明による研磨治具15を用いて、球面凹部(直径101.5mm、深さ0.7mm)を研磨した。研磨

に際し研磨治具15の回転円盤16を直径30mmの円盤状の平担板とし、その回転数を、12,000rpmとし、前記回転円盤16の研磨面にダイヤモンド粉集合体を装着して研磨し、球面凹部の表面粗さはRaで1.0μmものを使用した。そして、球面凹部の側壁部外周域の平坦部表面はSiC治具により研磨し、Raで5μm、10μm、25μm、40μm、50μmのものを得た。これらサセアタに半導体ウエハを載置し、以下の*

* 条件で熱処理を施し、その後半導体ウエハに含まれるN a, Al, Fe, Cr, Cu, K, Ca, Ni, Mg, Znの元素の総量(不純物量)を測定した。熱処理の条件は、1200°C, 30分間、窒素雰囲気中で行い、その他の条件は、各熱処理において同一となるよう設定した。尚、膜厚は6.0μmとした。

【0030】

【表2】

	表面粗さ(μm)	トラップされた不純物量 ($\times 10^{10}$ atoms/cm ²)
実施例1	10.0	10
実施例2	25.0	7
実施例3	40.0	2
比較例1	5.0	40
比較例2	50.0	60

【0031】上記比較例2において、トラップされた不純物量が 6.0×10^{10} atoms/cm²と多いのは、平坦部表面のSiC膜にマイクロクラックが発生し、黒鉛基材中の不純物が放出され、その結果ウエハ中にトラップされた不純物量が多くなったものと考えられる。通常、半導体ウエハ熱処理用サセアタでは50~200μm程度のSiC膜がコーティングされるが、例え200μmの場合でもRa=40μmを越える表面粗さでは熱処理の繰り返し、すなわちヒートサイクルにより、上記と同様の現象が生ずるものである。

【0032】以上のように、球面凹部の側壁部外周域の平坦部表面の表面粗さがRaで10~30μmであるため、炉内雰囲気中に少なからず混入する不純物を選択的に前記平坦面表面にトラップさせることができるものと言える。

【0033】次に、サセアタの球面凹部の最適な表面粗さを得ることができるダイヤモンドパウダの粒径と平坦円板を有する回転装置の平坦面に装着するダイヤモンド粉集合体表面の表面粗さとの関係を実験により求めた。その結果を図3に示す。なお、図3中のAは1600~1800°Cの反応温度としたCVD-SiC被膜のものであり、またBは1100~1300°Cの反応温度としたCVD-SiC被膜のものである。図3から明らかのように、サセアタの球面凹部12nの表面をRaで0.1μm~3μmとするためには、ダイヤモンドパウダの粒径が0.1~2.0μmを使用する場合には、ダイヤモンド粉集合体表面の表面粗さは200~1000メッシュのものでなければならない。

【0034】また、上記研磨によって得られるサセアタを50

※の球面凹部12nの表面の不純物量を測定した。測定に際し、本発明による研磨治具15を用いて、球面凹部(直径101.5mm、深さ0.7mm)を研磨した実施例と、なんら研磨処理を施さない比較例との両者を測定し、比較検討した。実施例は、まず研磨治具15の回転円盤16を直径30mmの円盤状の平担板とし、その回転数を、12,000rpmとした。また、回転円盤16の研磨面にダイヤモンド粉集合体を装着して研磨した。本実施例ではダイヤモンド粉集合体の表面荒さが、400と800メッシュのものを、ダイヤモンドパウダとして0.1~2.0μmのものを使用して研磨した。なお、測定項目は、表面粗さ、球面凹部の形状、不純物の分析とした。

【0035】表面粗さ、球面凹部の形状は、球面凹部にシリコン処理を行い、非接触式測定装置で測定したところ、比較例(研磨処理前)のRa値が4.1μmであったのが、実施例(研磨処理後)はRa=0.86μmとなり、球面凹部の形状に異常は認められなかった。

【0036】また、不純物の分析は、球面凹部の表面研磨処理の前後において、SiC膜(クリアー膜)表面の不純物を測定したものであり、実施例(研磨処理後)については、硝酸: 弗酸: H₂Oを1:0.02:4の組成からなる洗浄液により酸洗浄を4時間行ったが、その結果は、以下の表3、4に示すように、実施例及び比較例(研磨処理前後)において、実施例の方が高純度である結果が得られた。

【0037】

【表3】

9

	Fe	Al	Ni	Cr	Mn
比較例	0.32	0.21	< 0.01	0.03	< 0.01
実施例	0.16	0.17	0.15	< 0.01	< 0.01

単位: $\times 10^{-9} \text{ g/cm}^2$

【0038】

【表4】

	Cu	Ca	Mg	Na
比較例	0.07	0.26	0.03	0.16
実施例	0.03	0.19	0.03	0.15

単位: $\times 10^{-9} \text{ g/cm}^2$

【0039】したがって、本発明の実施例によれば、球面凹部のSiC膜を損なうことなく鏡面に研磨することができる。即ち、比較例にあっては、サセプタの球面凹部の表面の全不純物量が $1.1 \times 10^{-9} \text{ g/cm}^2$ であるのに対し、実施例ではサセプタの球面凹部の表面の全不純物量が $0.9 \times 10^{-9} \text{ g/cm}^2$ 以下と $1.0 \times 10^{-9} \text{ g/cm}^2$ 以下である半導体ウエハの熱処理用サセプタを得ることができ、また表3、表4から明らかなように前記サセプタの球面凹部表面のFe分析値が $0.2 \times 10^{-9} \text{ g/cm}^2$ 以下、Cu分析値が $0.1 \times 10^{-9} \text{ g/cm}^2$ 以下、Mg分析値が $0.1 \times 10^{-9} \text{ g/cm}^2$ 以下である半導体ウエハの熱処理用サセプタを得ることができる。このように従来にない高純度な研磨面とすることができる。これにより研磨面の平坦性が長時間維持される。

【0040】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明による半導体ウエハの熱処理用サセプタ及びその製造方法によれば、半導体ウエハがセットされる球面凹部を、所定

10

のダイヤモンドペーパ及びダイヤモンドパウダを使用することにより、サセプタの球面凹部のSiC膜を損なうことなく表面粗さをRaで $0.1 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$ 、好ましくは $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ にすることができる。

【0041】その結果、サセプタの球面凹部に半導体ウエハをセットして、反応温度まで昇温して熱処理を施しても、その球面凹部の表面に半導体ウエハが密着し、ウエハ内の温度分布が内周部と外周部とで均一化され、結晶欠陥となるスリップの発生を防止できる。しかも、側壁部外周域の平坦部表面の表面粗さをRaで $1.0 \mu\text{m} \sim 4.0 \mu\text{m}$ としたため、熱処理装置作動時に内雰囲気中に少からず混入する不純物を半導体ウエハ及び球面凹部の表面から平坦部表面にトラップさせることができ、その結果半導体ウエハの汚染を防止することができる。

更に、本発明による研磨を実施しても、研磨前のサセプタの不純物量と比べても不純物量が増加することもない。

【0042】このように、本発明によれば、半導体ウエハを化学気相成長させるサセプタの品質を改善したので、化学気相成長法によるウエハの結晶成長効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による半導体ウエハの熱処理用サセプタにウエハを載置する球面凹部の研磨状態を説明する断面図である。

【図2】本発明による半導体ウエハにサセプタを載置する球面凹部の研磨装置を示す断面図である。

【図3】本発明による研磨治具に使用されるダイヤモンドペーパと表面粗さとの関係を示す説明図である。

【図4】半導体ウエハを縦型反応炉で化学気相成長させる縦型の化学気相成長装置の構造を示す斜視図である。

【図5】図4の断面図である。

【図6】従来のサセプタを示す平面図である。

【図7】図6のVII-VIII線断面図である。

【符号の説明】

3 サセプタ

8 半導体ウエハ

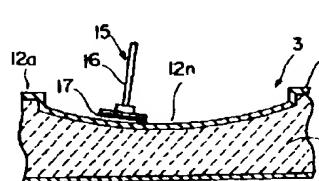
12n 球面凹部

12a 球面凹部の側壁部外周域平坦部

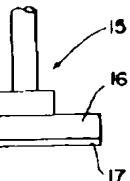
16 回転円盤

17 ダイヤモンド粉集合体

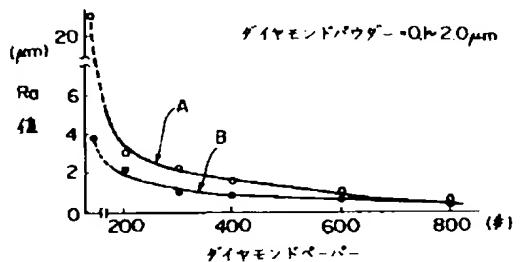
【図1】



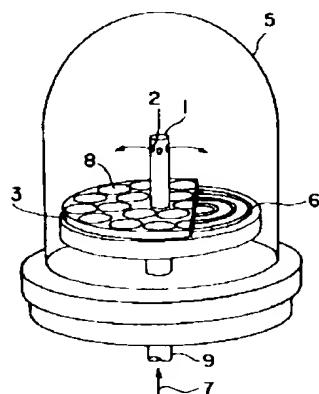
【図2】



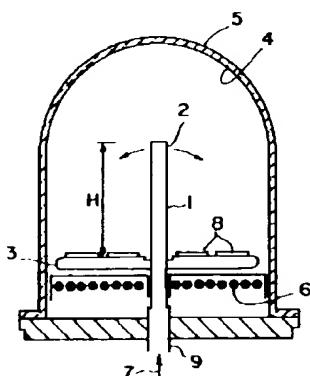
【図3】



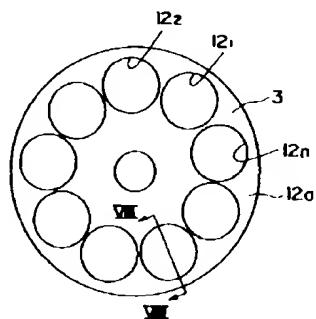
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

